
Agribusiness Paesaggio & Ambiente - Vol. XX - n. 1, Giugno 2017

Sostenibilità ambientale delle attività produttive

Comparazione tecnico-economica di sistemi di riduzione dei Composti Organici Volatili da emissioni atmosferiche industriali

Environmental Sustainability of Productive Activities. Technical-economic Comparison of Systems for Reduction of Volatile Organic Compounds from Industrial Air Emissions. *A technical and economic comparison of the most common methods to remove Volatile Organic Compounds (VOC) from air emissions of factories are illustrated. Costs have an important role in setting many air pollution control applications. Costs also play an input role in determining the economic impact of each alternative on small and medium businesses. Simple and inexpensive management, non-use of fossil fuels and the stability of performance during work periods make biofiltration an environmental friendly and sustainable technology. To solve extended pollution problems within industrial districts, could be better provide guidance of the most diffusible technologies among the companies instead to impose highly efficient removal technologies, but hardly applicable.*

Keywords: biofiltration, VOC, solvent, microorganisms, zeolite, thermal incinerator, activated carbon



MARCELLO CIVILINI

Nell'ultimo decennio si è assistito ad una grande modificazione nel tessuto produttivo di molte regioni, in particolare dove nel passato l'industria manifatturiera ha avuto un forte impatto sia dal punto di vista economico-sociale che da quello paesaggistico-ambientale. A seguito della crisi economica, andare nei siti di alcuni distretti industriali significa ancora oggi trovarsi di fronte ad ambienti con volumetrie edificate inutilizzate ed urbanizzazione per la mobilità sovradimensionate rispetto alle necessità. Lo sviluppo di queste realtà ha seguito logiche produttive non sempre consone ad una crescita integrata con

gli abitanti e l'ambiente. La grande industria, ma soprattutto quei distretti in cui le piccole e medie attività sono state l'asse portante dell'economia, si manifestano disarmonie originate dalla mancata sostenibilità architettonico-ambientale. Molto spesso, fare impresa e rispondere oltre che alle normative relative alla qualità di produzione, anche agli aspetti architettonico-paesaggistici-ambientali, significava in molti casi investire in settori non direttamente correlati al prodotto finito, ridurre quindi margini e competitività. Autotrasporto, rumore, qualità dell'aria, delle acque e del suolo, erano sicuramente punti critici che ne hanno determinato l'isolamento. La delocalizzazione rispetto ai centri abitati era giustificata da maggiori efficienze logistiche. Viceversa, la crescita residenziale non pianificata intorno ai centri produttivi, talvolta significava contrasto tra comitati cittadini ed aziende.

Dip. di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali, Università di Udine, Italia, E-mail: marcello.civilini@uniud.it

La competitività interna ai diversi settori, così come la carenza di un supporto organizzativo ed economico del sistema pubblico-privato non ha favorito l'instaurarsi di sinergismi che potessero concretizzarsi nella sostenibilità ambientale delle aziende. Soltanto adesso che i cambiamenti climatici sono così evidenti, ci accorgiamo che se avessimo investito in produzioni sostenibili, potremo riscuotere l'attenzione di chi ha interesse a fare impresa secondo i concetti etici di qualità e sostenibilità per una ripresa occupazionale necessaria ad ogni territorio.

Ripresa che comunque sembra realizzarsi se, da un'indagine condotta da Albanese e Bortot, p. 100 (2015), *“si stima che, complessivamente, il fatturato dei distretti a fine 2015 sia tornato ai valori pre-crisi del 2008”*. La riconversione per la grande industria è sicuramente più difficile, ma tra le numerose eccezioni a questo stato di cose è sicuramente doveroso citare il sito di Torviscosa in Friuli Venezia Giulia (<http://archeologiaindustriale.net/>) che, a differenza di altre zone, ha saputo coniugare il recupero strutturale delle opere presenti con una ripresa economica determinata dall'insediamento di attività produttive innovative. Così non è stato per altre aree e settori produttivi che hanno lasciato un tessuto urbano debole la cui rigenerazione necessita di un *“pensiero meta-progettuale resiliente ed un rinascimento del sistema socio-economico e territoriale”* (De Pace, 2016, p.71)

1. Introduzione

Le emissioni in atmosfera di composti organici volatili (COV) rappresentano uno dei maggiori vincoli allo sviluppo di settori produttivi in cui si utilizzano solventi, soprattutto quando questo aspetto non viene affrontato mediante una gestione integrata tra il loro uso e le tecnologie di controllo disponibili.

La legislazione fornisce gli strumenti normativi per regolamentare e ridurre in maniera significativa le emissioni. Nella direttiva 2008/1/CE si trovano le modalità per prevenire e controllare l'inquinamento derivante dai

settori quali produzione di energia, trasformazione metalli, industrie minerarie e chimiche, gestione rifiuti e altre attività integrate. In essa si prevedono misure intese a evitare oppure, ove ciò non sia possibile, ridurre le emissioni in aria delle suddette attività e per conseguire un elevato livello di protezione dell'ambiente. Per verificare e dimostrare il raggiungimento ed il rispetto delle soglie nazionali, la direttiva 2001/81/CE prevede che gli Stati membri elaborino, aggiornino e riferiscano annualmente alla Commissione europea gli inventari nazionali e le proiezioni delle emissioni, elaborati secondo gli obiettivi previsti dall'allegato III della direttiva. In Italia, i dati delle emissioni utilizzati per soddisfare la direttiva 2001/81 sono predisposti dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), sulla base di metodologie consolidate a livello internazionale.

La direttiva 1999-13-CE mira a prevenire o a ridurre gli effetti delle emissioni di composti organici volatili in aria e i rischi potenziali per la salute umana mediante procedure da attuare per le attività comprese nell'allegato I quando queste superino le soglie di consumo di solvente di cui all'allegato II A. Lo scenario del numero di impianti che rientrano nell'allegato II.A della direttiva 1999-13-CE e le emissioni annue di COV in Italia è riportato in Tab. 1.

In generale sono coinvolte aziende che nel processo produttivo trattano prodotti quali adesivi, sigillanti, inchiostri da stampa, pitture e vernici. La presenza in una pluralità di applicazioni diverse si riflette in una presenza pervasiva di questi prodotti sull'industria manifatturiera in generale. I principali settori di utilizzo di tali prodotti sono rappresentati da edilizia, industria dei mezzi di trasporto, filiera del legno (mobili, serramenti), industria cartaria e cartotecnica, industria metalmeccanica e dei manufatti in plastica, industria grafica, rivendita diretta.

Allo stesso tempo, la direttiva 2010/75/UE, individua le attività industriali ad alto potenziale di inquinamento ed ha imposto a ciascuno Stato membro di adottare misure necessarie per garantire che nessun impianto funzioni senza un permesso.

Attività (Soglia di consumo di solvente in tonnellate/ anno)		Soglia consumo solvente (tonnellate/ anno)	Valori limite emissione nei gas esausti (mgC/Nm ³)	Numero totale di impianti che rientrano in Annex II. AI of 1999-13-CE ITALY 31.12.2013	Emissioni COV (tonnellate) ITALY 2012
1	Stampa offset (> 15)	15-25	100	262	670
2	Carta per rotocalco (> 25)	> 25	20	6	69
3	Altri tipi di rotocalcografia, flessografia, offset dal rolo, unità di laminazione o laccatura (> 15) offset del rolo su tessuti/cartone (> 30)	15-25	100	126	2296
		> 25	100		
		> 30(1)	100		
4	Pulizia di superficie (> 1)	1-5	20	128	180
5	Altri tipi di pulizia di superficie (> 2)	> 5	20	189	143
		2-10			
6	Rivestimento di veicoli (> 15) e finitura di veicoli	> 10		3181	16465
7	Verniciatura in continuo (coil coating) (> 25)	> 0,5		105	25
8	Altri rivestimenti compreso metalli, plastica, tessuti, tessuti, film e carta (> 5)	5-15	50	754	7739
9	Rivestimento di filo per avvolgimento	> 15	50	11	176
10	Rivestimento delle superfici di legno	15-25	100	620	3995
11	Pulitura a secco	> 25	50	8133	282
12	Impregnazione del legno (> 25)			1	0
13	Rivestimento di cuoio (> 10)	10-25		158	3619
14	Fabbricazione di calzature (> 5)	> 25		23	122
				24	29
15	Stratificazione di legno e plastica (> 5)			49	1193
16	Rivestimento adesivi (> 5)	5-15	50	49	1193
17	Fabbricazione di preparati per rivestimento, vernici, inchiostri e adesivi (> 100)	> 15	50	190	1243
		100-1000	150		
18	Conversione della gomma (> 15)	> 1000	150	31	389
19	Estrazione di olio vegetale e grasso animale e attività di raffinazione di olio vegetale (> 10)		20	16	55
20	Fabbricazione di prodotti farmaceutici (> 50)		20	83	441
TOTALE					119567

Tab. 1

Soglie ed emissioni COV in Italia

Tecniche	BAT-valori associati ⁽¹⁾	Considerazioni
Separazione mediante membrane selettive	Recupero 90 - > 99,9 % VOC < 20 mg/m ³	Campo di applicazione indicativo 1 -> 10 g VOC / m ³ . L'efficienza può essere influenzata negativamente ad esempio da prodotti corrosivi, gas polverosi o gas vicini al punto di rugiada.
Condensazione	Condensazione: 50 - 98 % recupero + abbattimento supplementare. Crio-condensazione: recupero 95 - 99,95 %	Campo di applicazione indicativo: flusso 100 - > 100000 m ³ /h, 50 - > 100g VOC/m ³ . Cryo-condensation: flusso 10 - 1000 m ³ /h, 200 - 1000 g VOC/m ³ , 20 mbar-6 bar
Adsorbimento	Recupero 95 - 99,95 % "	Campo di applicazione indicativo per adsorbimento rigenerativo: flusso 100 - > 100000 m ³ /h, 0.01 - 10g VOC/m ³ , 1 - 20 atm. Adsorbimento non rigenerativo: flusso 10 - > 1000 m ³ /h, 0.01 - 1.2g VOC/m ³
Scrubber	Recupero 95 - 99,99 %	Campo di applicazione indicativo: flusso 10 - 50000 m ³ /h, 0.3 - > 5g VOC/m ³
Incenerimento termico	Riduzione 95 - 99,99 % VOC < 1 - 20 mg/m ³	Campo di applicazione indicativo per adsorbimento rigenerativo: flusso 100 - > 100000 m ³ /h, 0.01 - 10g VOC/m ³ , Range di 1 - 20 mg/m ³ è basato su limiti di emissione e valori misurati. L'efficienze di riduzione del combustore termico rigenerativo o recuperativo può essere inferiore del 95-99% ma può raggiungere < 20 mg/Nm ³ .
Ossidazione catalitica	Riduzione 95 - 99,99 % VOC < 1 - 20 mg/m ³	Campo di applicazione indicativo: flusso 10 - 100000 m ³ /h, 0.05 - > 3g VOC/m ³
Flaring	Fiamma alta: 95 % Fiamma bassa: 99,5 %	Campo di applicazione indicativo: flusso 10 - 100000 m ³ /h, 0.05 - > 3g VOC/m ³

¹ Le concentrazioni si riferiscono alla metà ora / medie giornaliere per condizioni di riferimento di gas di scarico secco a 0 ° C, 101,3 kPa e un tenore di ossigeno del 3% in volume (11% vol. contenuto di ossigeno nel caso di ossidazione catalitica / termica).

Tab. 2

Tecnologie fisico-chimiche di abbattimento COV (European Commission, 2003a)

In questo contesto normativo gli operatori dei diversi settori si sono mossi per adeguare le tecnologie gestionali e produttive delle aziende nelle direzioni più consone alle proprie esigenze, in modo da minimizzare il costo ambientale rispetto a quello del prodotto finito così da mantenere competitività nei confronti di altri paesi produttori.

La scelta delle migliori tecnologie disponibili (BAT – best available technologies) per il controllo degli inquinanti dell'aria richiedono la valutazione di parametri quali: tipi e concentrazione degli inquinanti, portata dei gas, presenza di impurità, concentrazioni soglia di emissione ammissibili, sicurezza, investimenti e costi di gestione, layout dell'impianto, disponibilità di servizi. Una combinazione di tecniche possono essere necessarie nel caso di emissioni con concentrazioni elevate di inquinanti o tecniche di trattamento meno efficienti. Una serie di indicazioni sulle migliori tecnologie disponibili sia specifiche sui COV (Tab. 2) che altri inquinanti atmosferici sono reperibili nei documenti di riferimento relativi a "Integrated Pollution Prevention and Control -(IPPC)" nei diversi settori (European Commission, 2003a,b). Molto spesso, però, la caratteristica strutturale del tessuto produttivo non consente di acquisire le migliori tecnologie disponibili in quanto queste non sono sempre facilmente adattabili. Ciò accade non tanto alla grande industria, che può avere margini sufficienti per ottimizzare il problema, ma soprattutto al piccolo artigiano "contoterzista", a causa dei costi di investimento e gestione dei processi di abbattimento. Infine, la dispersione delle aziende di caratteristiche simili non permette una razionalizzazione consorziata dei trattamenti.

1. Tecnologie per il controllo COV

I trattamenti di abbattimento degli inquinanti nelle emissioni sono caratterizzati dal fatto di risolvere i problemi a valle della sorgente di contaminazione comportando un consumo energetico e di risorse. La prevenzione dell'inquinamento potenziale a monte del trattamen-

to, mediante tecnologie migliorative nel processo produttivo stesso, rende più efficace l'attività di rimozione ed aumenta la probabilità di raggiungere gli standard ambientali da parte delle aziende.

Il processo decisionale riguardante poi la scelta fra le diverse tecniche di controllo dei COV deve tener conto di parametri relativi alla sorgente emissiva (concentrazione COV, velocità di flusso, variabilità del carico, composizione COV, rischi di esplosione, posizione, temperature di emissione, etc.), ai costi di investimento e gestione, alla possibilità di recuperare in parte i costi delle apparecchiature di controllo, l'efficienza di rimozione e così via.

I sistemi di abbattimento applicabili ai COV possono essere suddivisi in tecnologie con metodo non distruttivo e con metodo distruttivo.

Utilizzando un metodo non distruttivo, l'inquinante, inizialmente in fase di vapore, viene recuperato con la medesima struttura chimica in fase liquida. La sua estrazione dall'aria può avvenire per condensazione diretta in una miscela liquida di lavaggio in contatto con il flusso gassoso (per esempio si può operare un assorbimento in soluzione chimicamente omogenea al composto organico inquinante) oppure mediante adsorbimento su carboni attivi o zeoliti e relativo stripping con fluido inerte. L'applicazione di tale sistema, ove l'inquinante COV non sia monosolvente, può diventare non conveniente, in quanto il riutilizzo diretto dei solventi recuperati non risulta talvolta fattibile.

Utilizzando un metodo distruttivo l'inquinante, inizialmente in fase vapore, viene ossidato generando sottoprodotti in relazione delle tecnologie impiegate. La trasformazione dei composti organici può avvenire utilizzando metodi fisici come per la combustione catalitica e termica oppure biologici quale la biofiltrazione a temperatura ambiente.

Tramite ossidazione termica è possibile ossidare qualsiasi tipo di sostanza organica. La temperatura è compresa tra i 750 ed i 1250 °C. L'ossidazione catalitica avviene invece a più basse temperature (200-400 °C) ed in un'area limitata con uno o più letti catalitici. Il gas che deve essere depurato viene portato alla corret-

ta temperatura grazie ad un bruciatore, dopodiché il flusso entra in contatto con letti di catalizzatore a base di metalli nobili o ossidi metallici.

Nei processi biologici quali la biofiltrazione, il gas da depurare viene distribuito nel letto di materiale organico od inorganico. Il materiale filtrante è mantenuto umido mediante irrorazione di acqua e/o nutrienti al fine di rendere ottimale l'attività dei microrganismi responsabili della degradazione dei contaminanti (Civilini, 2005). Il tempo di permanenza del gas nel biofiltro varia molto in funzione della biodegradabilità degli inquinanti ed è compreso tra 20 e 90 secondi. Il controllo dell'umidità, della temperatura, del pH e del tempo di residenza viene effettuato generalmente in continuo attraverso un sistema di rilevazione automatico.

2. Caratteristiche e costi delle tecnologie di controllo

I costi delle tecnologie possono avere un ruolo importante nell'applicazione delle normative di controllo. Alcuni regolamenti utilizzano i costi nel determinare il loro rigore. Questo può comportare un compromesso tra costi e impatti ambientali, costi e valutazione dei benefici, impatti ambientali e conseguenze economiche nel controllare i costi. Prendendo ad esempio il settore depurazione acque, le normative attuali individuano parametri, valori ed efficienze rispetto alle migliori tecnologie applicabili su larga scala a costi accettabili dalla collettività. Questo ha permesso di poter rendere le aggregazioni urbane sostenibili dal punto di vista igienico-sanitario-ambientale, evitando tutto quello che in passato il non trattamento ha comportato. Tipi di parametri da controllare e loro valori sono quelli realizzabili da impianti ormai largamente diffusi sul territorio perché economicamente sostenibili, che hanno delle efficienze di rimozione diverse tra i diversi parametri, ma in genere al di sotto del 90 %. Il legislatore potrebbe imporre valori molto più stringenti e quindi richiedere efficienze più alte per ogni singolo parametro,

ma i costi di ristrutturazione e gestione degli impianti sarebbero molto più alti e non giustificati rispetto al beneficio che ne potrebbe derivare.

Altri tipi di regolamenti utilizzano l'analisi dei costi per scegliere tra normative alternative con lo stesso livello di rigore. Le autorità preposte possono utilizzare le analisi costo-efficacia per determinare il costo minimo per raggiungere l'obiettivo (EPA, 2002).

L'analisi costi-benefici serve ad assicurare al pubblico la migliore scelta possibile tra metodi alternativi e ridurre l'impatto economico di ogni alternativa sulle popolazioni sensibili, le piccole imprese, l'occupazione, prezzi, mercati e strutture del settore interessato.

Passando alla disamina tecnico-economica dei sistemi di abbattimento, tra i metodi non distruttivi, l'adsorbimento su carbone attivo garantisce significativi valori di rimozione di COV da emissioni contaminate. Tuttavia, i filtri a carbone tendono a saturarsi e necessitano essere sostituiti e/o rigenerati. I sistemi di adsorbimento sono efficaci per realtà che coinvolgono flussi moderati e bassi valori di concentrazioni di contaminante (meno di 100 parti per milione in volume [ppmv]). Il costo di un sistema a carboni attivi è direttamente proporzionale alla portata del gas da trattare e alla concentrazione dei contaminanti. Lo smaltimento comporta una spesa importante perché classificati come rifiuti pericolosi dato che contengono sostanze inquinanti (Hudock, 2007). La rigenerazione dei filtri a carboni attivi è conveniente solo se i processi di rigenerazione sono disponibili in loco e la materia prima viene recuperata (Leson e Winer, 1991). Simile ai carboni attivi, la tecnologia con zeoliti richiede la sostituzione o la rigenerazione sequenziale per rimuovere e distruggere COV adsorbiti. Come per i sistemi con carbone attivo, i costi a zeolite dipendono da fattori quali la velocità del flusso del gas e le concentrazioni dei COV. I costi di investimento dei processi di adsorbimento hanno dimostrato essere compresi tra 12 e 95 € per m³/h di aria trattata con costi di gestione annui di circa 28 € per m³/h (Hudock, 2007; European Commission, 2003b).

Per quanto riguarda i trattamenti distrutti-

vi, i costi associati ai trattamenti biologici per rimuovere i COV dalle emissioni gassose, variano a seconda della tecnologia utilizzata. La maggior parte della letteratura tende a raccogliere sotto il termine “biofiltrazione” varie tecnologie, in pratica non confrontando i diversi processi biologici (ad esempio, biotrickling, bioscrubbing, ecc). La biofiltrazione risulta essere più economica rispetto ai trattamenti con carboni attivi o termici in condizioni di alte portate e concentrazioni inferiori a 1000 ppm. Seppur i costi di start-up siano generalmente paragonabili ai sistemi di abbattimento fisico-chimici, i costi di gestione della biofiltrazione sono notevolmente inferiori anche se i rendimenti specifici sono inferiori rispetto alle altre tecnologie. Per quanto riguarda il costo delle matrici attive di filtrazione, esse variano nelle

diverse tecnologie biologiche. Anche se il costo del materiale di supporto per la biofiltrazione è molto inferiore a quello dei “Biotrickling”, i maggiori volumi necessari per la biofiltrazione a causa dei suoi maggiori tempi di ritenzione, aumentano fino a un 47% i costi operativi totali (rispetto al 44% dei Biotrickling) (Estrada, 2012).

I metodi distruttivi di combustione richiedono grandi quantità di combustibile al fine di ottenere una efficace rimozione e sono sconsigliati se le emissioni contengono basse concentrazioni di contaminanti. Oltre l'ulteriore inquinamento atmosferico, il costo di tali combustibili può risultare eccessivo (Hudock, 2007). Processi di recupero del calore e catalisi possono ridurre alcuni di questi costi, tuttavia, tali riduzioni di solito avvengono a spese

INVESTIMENTI	COMBUSTORE A LETTO CERAMICO %	SISTEMA BIOFILTRAZIONE %
Costo Macchina CE	81,0	76,5
Impianti elettrici	-	3,5
Controlli automatici	-	1,5
Reti dati	0,3	0,3
Accessori	-	0,9
Lavori edili	1,2	2,3
Certificazioni	0,0	1,7
Collegamenti aeraulici	6,5	8,0
Collegamenti elettrici	0,6	0,7
Collegamenti pneumatici	0,2	0,3
Collegamenti idraulici	-	0,2
Linea gas metano	6,8	-
Studio fattibilità	3,4	4,2
Pre-filtrazione Polveri	3,8	-
Montaggio	10,1	-
Trasporto	3,4	-
GESTIONE	%	%
Consumi termici	50,7	-
Consumi elettrici	27,8	24,9
Consumi aria compressa	2,1	0,5
Consumi acqua	-	1,1
Materiali di manutenzione	9,8	1,1
Personale di manutenzione	7,9	7,5
Ammortamenti tecnici	-	-
Rigenerazione	-	2,7
Gestione esterna	-	43,0
Analisi	-	18,9
Emissioni CO ₂ *	1,7	0,3

* che si traduce in quote di CO (5 euro/t)

Tab. 3

Distribuzione percentuale dei costi di investimento e gestione in tecnologie distruttive di abbattimento COV

di maggiori costi di installazione e manutenzione. L'ossidazione catalitica è sicuramente una soluzione conveniente per contenere i costi di gestione grazie alle più basse temperature operative rispetto al tradizionale trattamento termico. Tale tecnologia può avere però problemi di "avvelenamento" dei catalizzatori causati da inquinanti e polveri che portano ad una necessaria e costosa sostituzione.

Una verifica dei costi fatta a fine 2014 per alcune di tipologie di sistemi di trattamento distruttivo, uniformati a una potenzialità di 20000 m³/h di aria trattata, ha visto i costi di investimento dei biofiltri variare tra 12,5 ed 19 € per m³/h d'aria trattata, con costi di gestione valutati pari a 1,6 € m³/h. Per quanto riguarda i combustori termici, considerate le condizioni economiche generali e le problematiche a loro associate, sono state riscontrate delle riduzioni nei costi di investimento. Combustori senza concentratore hanno variato tra 16,8 e 18,7 € per m³/h di portata d'aria con costi di gestione rispettivamente di 2,82 e 2,3 € per m³/h, mentre per i combustori termici con concentratore il valore delle offerte di investimento sono stati tra 19,7 e 23,1 € per m³/h con costi di gestione compresi tra 1,15 e 0,61 € per m³/h trattato.

Un confronto dell'incidenza delle diverse voci di spesa nei costi di investimento e gestione del sistema di abbattimento termico e della biofiltrazione sono riportati in Tabella 3. La distribuzione percentuale è calcolata sui rispettivi valori di investimento e gestione che per il biofiltro sono rispettivamente circa del 18 % e 8 % più bassi.

Queste indicazioni sulle diverse tecnologie hanno lo scopo di dare strumenti di valutazione per affrontare il problema dell'inquinamento in maniera sistemica specialmente dove ci sono concentrazioni di emissioni. Al fine di introdurre anche per l'aria tecnologie su larga scala come per le acque, è importante che gli interventi possano adempiere ai concetti di maggiore diffusione anche se a minor rendimento, rispetto ad imporre tecnologie risolutive ad alti rendimenti difficilmente applicabili ad attività medio piccole.

L'importanza di intervenire sulla qualità

dell'aria su larga scala, oltre ad avere effetti sui gas serra e quindi sul riscaldamento terrestre, ha una diretta influenza sulla popolazione. Indagini relative ai paesi in via di sviluppo e quelli in rapida crescita hanno determinato che il rischio di incidenza dell'inquinamento sulla popolazione si colloca ad un valore maggiore rispetto a malaria, tubercolosi, AIDS e cancro al seno (Islam, 2015). In Cina, l'inquinamento atmosferico è stato stimato contribuire da 1,2 a 2 milioni di decessi ogni anno (Rohde, 2015). Un approccio diverso di valutazione degli effetti dell'inquinamento sulla popolazione è rilevabile in uno studio del 2006 effettuato sui residenti della Valle di San Joaquin, in California (Hall et al., 2006). In questo studio, è stato stimato un beneficio annuo di circa 1000 \$ per persona nel caso si fossero raggiunti i livelli di ozono e PM_{2,5} dettati dagli standard federali (NAAQS-national ambient air quality standards). Per tale calcolo, sono stati utilizzati parametri quali la "disponibilità a pagare" (WTP- willingness to pay) e il "costo della malattia" (COI- cost of illness) ed hanno considerato i ricoveri in ospedale, visite di pronto soccorso, assenze scolastiche, e un minor numero di giorni di attività per persone comprese tra i 18 ed i 64 anni, relative a casi respiratori ed attacchi di asma. I benefici per la salute della riduzione del 35% delle emissioni di COV in un'area con un campione di popolazione di 129 milioni di persone è stata stimata pari a circa 800 milioni di dollari (Krupnick e Portney, 1991). Questo valore risulta essere pari a 6,2 \$ per persona nel 1991 e 9,13 \$ per persona rapportato al 2007 (Hudock, 2007).

Un studio del 2003 ha mostrato che il valore economico calcolato sul numero di assenze scolastiche a causa di malattie respiratorie nei bambini di età compresa tra 5-18 anni nel sud della California è stato di circa 245 milioni di dollari all'anno, pari a 75 \$ a bambino (Hall, 2003).

4. Conclusioni

La dispersione in atmosfera dei solventi organici utilizzati in alcune attività contribuisce alla

formazione di ossidanti fotochimici e, in determinate condizioni di esposizione, può avere effetti nocivi sulla salute umana. Gli ossidanti fotochimici sono specie che si formano durante la foto-ossidazione atmosferica dei COV (Carter, 1994) ed esempi di questi includono ozono, perossido di idrogeno e perossiacetilnitrati. La riduzione del consumo e delle emissioni dei COV quali precursori dell'ozono, si traduce in un risparmio per la comunità che supera di gran lunga il costo previsto di installare e gestire un sistema di abbattimento.

Per rispondere alle esigenze di sostenibilità ambientale che le normative vigenti impongono, le attività produttive devono dimostrarsi virtuose nel cercare prima di tutto di ridurre i loro consumi di solventi, ma al tempo stesso scegliere delle tecnologie di controllo che tengano conto di un calcolo globale del loro potenziale impatto ambientale.

La scelta della migliore tecnologia di abbattimento disponibile quale soluzione ultima e indispensabile di ecosostenibilità e rispetto delle norme, può richiedere la programmazione dei carichi di lavoro nel breve e medio periodo. Infatti molto spesso la variabilità delle emissioni contrasta con la rigidità di alcune tecnologie di abbattimento al punto da non permettergli di rispettare i parametri di efficienza o di maggiore economicità.

La biofiltrazione può avere un minore impatto sull'ambiente in quanto è una tecnologia concettualmente più semplice, meno onerosa per la gestione, richiede un basso consumo energetico e non produce rifiuti. Da questo punto di vista, la biofiltrazione risulta idonea per il trattamento dei COV in emissioni gassose e si pone come sistema sostenibile ed ecocompatibile rispetto ai diversi metodi fisico-chimici considerati.



Summary

Pollution of volatile organic compounds (VOCs) often affect industrial areas of the Italian regions because the coatings, plastics processing, extraction and treatment "degreasing" are common procedures of various industrial activities. In most case, small and medium companies are responsible of high amounts of VOCs emissions. In the last decade, a great change happened in the productive

fabric of many regions, in particularly where the manufacturing industry have had a strong impact in terms of economic, social and environment. Among several problems related at production and rules to follow, companies had to meet the environmental sustainability. This aspect was generally treated individually also if the same problem was spread within district area. Cost-benefit analysis were not made to ensure the best possible choice among different technologies to reduce pollutants and decrease the economic impact of each alternative on sensitive populations, small businesses, employment, prices, markets and structures of the sector concerned. Relying on the best available technology of abatement as a last option for environmental sustainability and respect of rules, re-scheduling of workloads in the short and medium term can be required. Very often, efficiency or cost savings were not possible because fluctuations contrast the rigidity of certain abatement technologies. After several years of experimentation, biological applications to remove volatile organic compounds (VOC) from air emissions of factories are presented as possible alternative technologies to traditional physical and chemical methods. A comparison of techniques and an economic comparison of the most common methods of VOC control are illustrated. Biofiltration can have less impact on the environment because it is a conceptually simpler technology, less costly to manage; it requires low power consumption and produces no waste. From this point of view, biofiltration appear suitable for the treatment of VOCs in the gaseous emissions, like a sustainable and environmentally friendly technology compared to the various physic-chemical methods considered. The reduction in consumption and emissions of ozone precursors such as VOCs results in economic savings for the community that far exceed the estimated cost of installation and operation of a culling system.

Bibliografia

Albanese M., Bortot F. (2015) Resilienza e turning point nei distretti e nelle imprese cooperative. *Agribusines Paesaggio & Ambiente*, vol. XVIII, 2, 95-104.

Carter W.P.L. (1994) Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 44, 881-899

Civilini M. (2005) Trattamenti biologici per la riduzione dei composti organici volatili in emissioni gassose dell'industria del legno. *Agribusines Paesaggio & Ambiente*, vol. VIII, 2, 168-173

De Pace G. (2016) La riqualificazione delle aree dismesse. *Agribusines Paesaggio & Ambiente*, vol. XIX, 1, 70-73

Delhomenie M. e Heitz M. (2005) Biofiltration of Air: A Review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25: 53-72.

EPA (2002) Environmental Protection Agency, Air pollution control cost manual. Sixth Edition EPA/452/B-02-001.

Estrada J.M., Kraakman N.J.R., Lebrero R., Muñoz R. (2012) A sensitivity analysis of process design parameters, commodity prices and robustness on the economics of odour abatement technologies, *Biotechnology Advances*, 30, 1354-1363.

European Commission (2003a) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry

European Commission (2003b) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/ Management Systems in the Chemical Sector.

Hall J. V., Brajer V. e Lurmann, F. W. (2006) The Health and Related Economic Benefits of Attaining Healthful Air in the San Joaquin Valley. Fullerton, CA: Institute for Economic and Environmental Studies.

Hall J. V., Brajer V., e Lurmann F. W. (2003) Economic Valuation of Ozone-Related School Absences in the South Coast Air Basin of California. *Contemporary Economic Policy*, 21: 407-417.

Hudock D.M. (2007) Biofiltration as a viable alternative for air pollution control at department of defense surface

coating facilities. (Thesis) AFIT/GES/ENV/07-M3 Department of the Air Force University, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

Islam ZU, Zhisheng Y, Hassan el B, Dongdong C, Hongxun Z. (2015) Microbial conversion of pyrolytic products to biofuels: a novel and sustainable approach toward second-generation biofuels. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 42 (12), 1557-1579.

Krupnick A. J. e Portney P. R. (1991) Controlling Urban Air Pollution: A Benefit-Cost Assessment. *Science*, 252: 522-528.

Leson G., Winer A. M. (1991) Biofiltration: A Promising and Cost-Effective Control Technology for Odors, VOCs and Air Toxics. *Air and Waste Management Association*, 41: 1045-1054.

Prado Ó.J., Gabriel D., Lafuente J. (2009) Economical assessment of the design, construction and operation of open-bed biofilters for waste gas treatment. *J Environ Manage* 90, 2515-2523.

Rohde RA, Muller RA. (2015) Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. *PLoS One*. 10 (8): e0135749.

Van Lith C., Leson G., e Michelsen R. (1997) Evaluating Design Options for Biofilters. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 47: 37-48.